

放射性物質分析・研究施設第2棟における 燃料デブリの分析に係る検討について

2019年6月17日

東京電力ホールディングス株式会社(東京電力)
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(JAEA)

目次

1. 1Fに係る分析の整理
2. 放射性物質分析・研究施設の概要
3. 燃料デブリ分析に係る検討経緯
4. 第2棟における分析項目の選定について
5. 第2棟の現行想定分析フロー案
6. 燃料デブリ分析に係る技術課題の検討
7. 第2棟のその他の仕様について

(参考1) TMI-2事故後の燃料デブリ出し作業における分析実績の調査

(参考2) 1F原子力発電所事故廃棄物の処理・処分に係る分析核種について

(参考3) JAEA検討会における検討内容: 分析項目で用いる分析装置の紹介

(参考4) 第2棟の現行想定分析フロー案詳細

(参考5) 新型ICP-MSを用いた多核種同時分析法の開発

(参考6) 1Fにおける分析体制について(第69回監視・評価検討会資料3抜粋再掲)

1. 1Fに係る分析の整理(1/2)

作業目的による分析事項の整理

放射性物質分析・研究施設
構外の既設分析施設 など

1F分析施設

- プラント管理
 - ・ALPS等水処理設備管理
 - ・5・6号機管理
 - ・設備不具合対応

- 環境影響の把握
 - ・海水, 陸土, 陸水
 - ・松葉など環境試料
 - ・ダスト
 - ・異常時対応

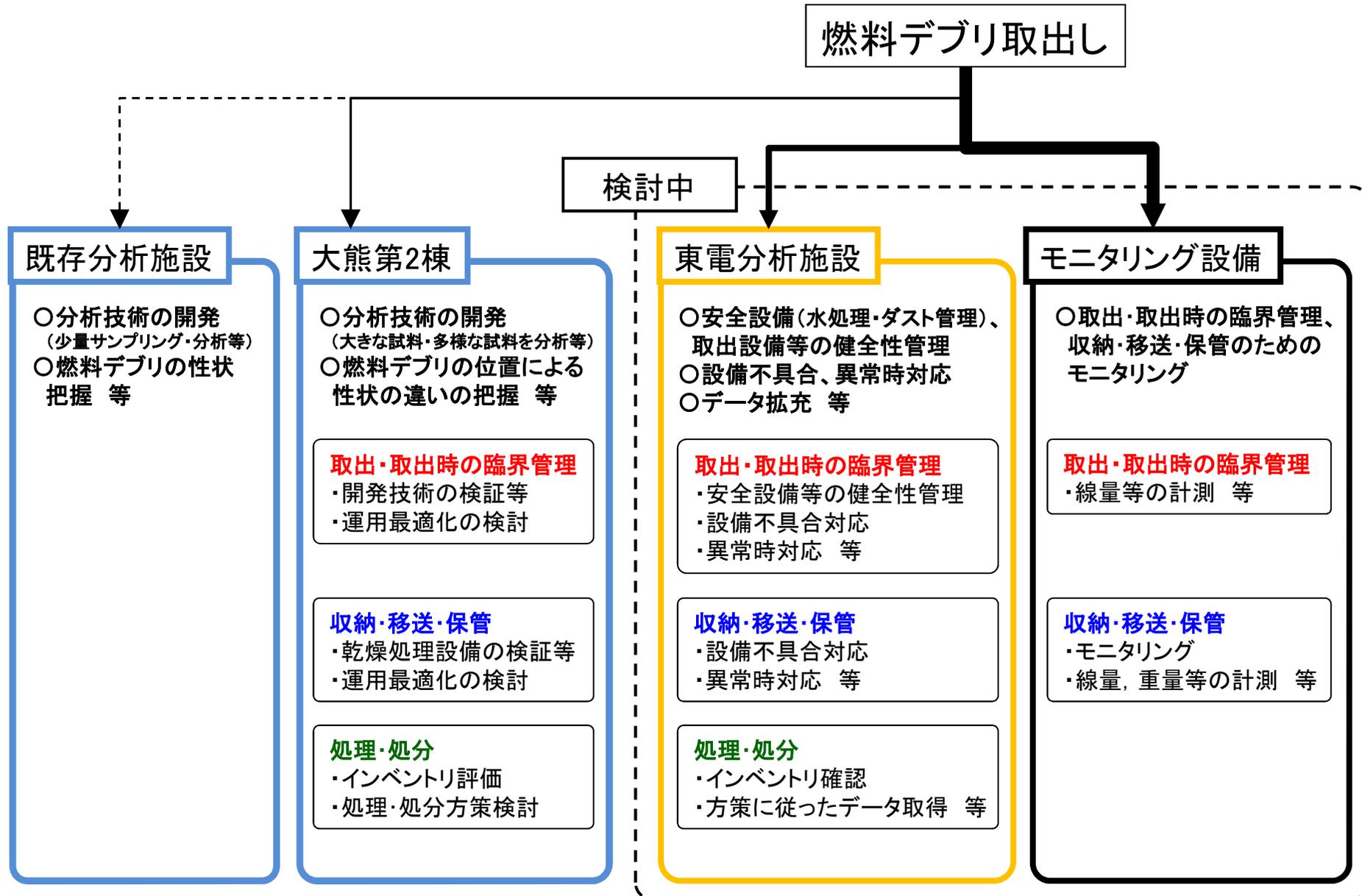
- ガレキ等の管理：ガレキ類, 建屋解体に伴う建材, 伐採木など
- 水処理二次廃棄物の管理
 - ・核種相関データ採取
 - ・測定技術開発
 - ・処理技術開発
- ・保管管理

- 燃料デブリ取出作業
 - ・測定技術開発
 - ・処理技術開発
 - ・取出装置改良情報収集
- ・水処理装置管理
- ・ダスト管理
- ・保障措置／計量管理※
- ・システム仕様検討
- ・設備不具合対応
- ・異常時対応

※分析での実施は未定

1. 1Fに係る分析の整理(2/2)

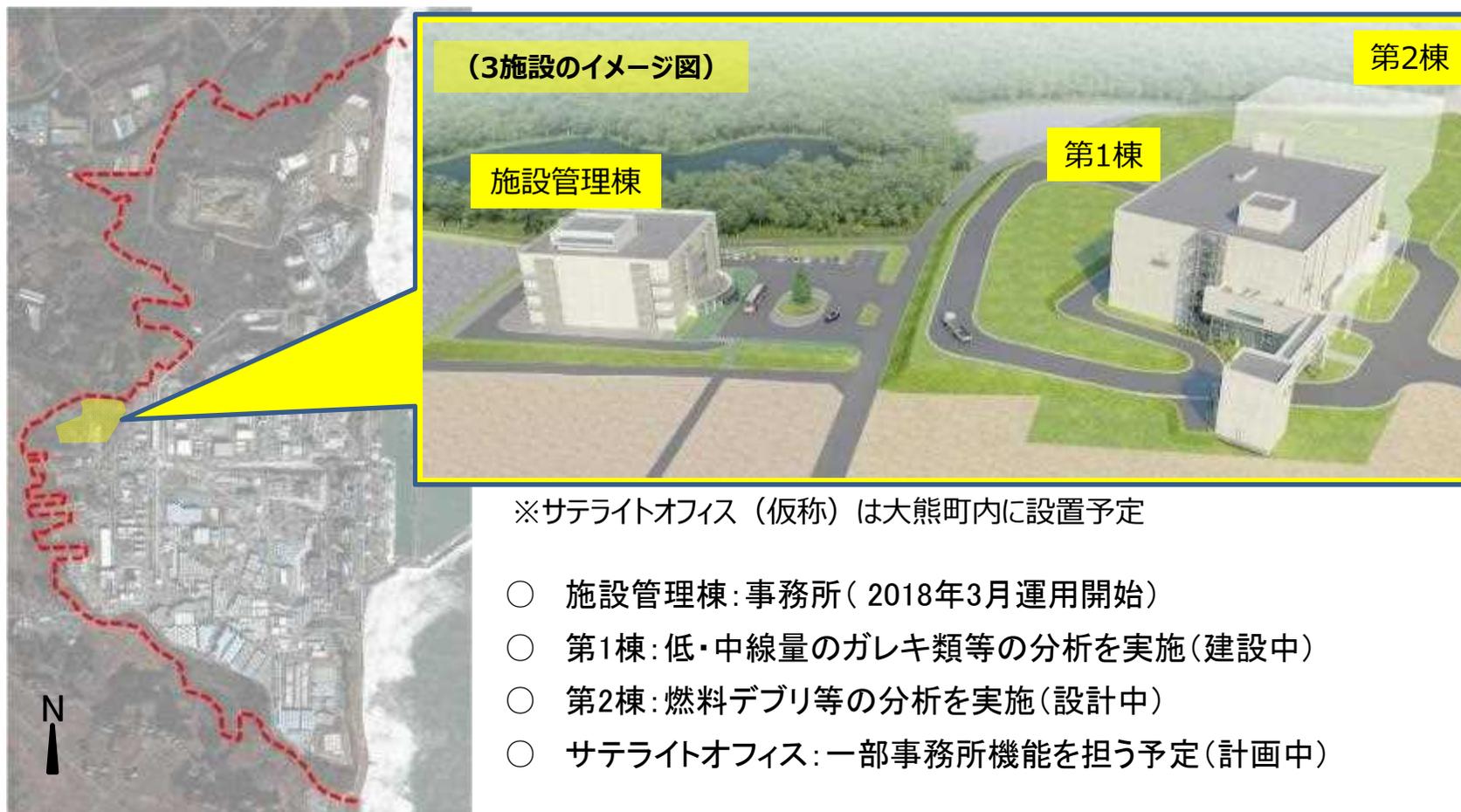
燃料デブリにかかる分析機能の分担



※廃炉作業の状況に応じて、必要な分析・計測がされるよう各施設で連携し柔軟に対応

2. 放射性物質分析・研究施設の概要(1/3) 全体概要

- 施設管理棟、第1棟、第2棟及びサテライトオフィス(仮称)で構成。



※サテライトオフィス(仮称)は大熊町内に設置予定

- 施設管理棟:事務所(2018年3月運用開始)
- 第1棟:低・中線量のガレキ類等の分析を実施(建設中)
- 第2棟:燃料デブリ等の分析を実施(設計中)
- サテライトオフィス:一部事務所機能を担う予定(計画中)

※赤破線内側は東京電力敷地

- 第1棟、第2棟は、特定原子力施設の一部として東京電力が申請し保安を統括、JAEAが設計・建設、運営(分析実務及び換排気等の施設運転)を担当。
- 上記整理のもと、第1棟は実施計画変更認可のうえ建設中。第2棟は設計中、今後申請。

2. 放射性物質分析・研究施設の概要(2/3) 第1棟の目的と分析対象

■第1棟の目的:

- ・ 福島第一原子力発電所(以下「1F」)で発生する瓦礫等及び汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物等の性状を把握することにより、処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通し等を得るため、分析・試験を行うことを目的とする。

■分析対象について:

- ・ ガレキ類及び水処理二次廃棄物等を扱い核燃料物質は扱わない。
- ・ 危険物ないし危険物を含有する可能性のある物質は、極少量のみ受入れる。
- ・ 取扱い線量率、寸法、質量

(a) 低線量の受入物

- 表面線量率: 約1mSv/h以下
- 寸法の目安: 一般的な建屋両開き扉を通過できる程度のサイズ
- 重量: ~300kg程度まで

(b) 中線量の受入物(鉄セルでの取扱い)

- 表面線量率: 約1Sv/h 以下
- 寸法の目安: 鉄セルで扱うことが出来るサイズ(最大8cm×8cm×15cm)
- 重量: 約2kg以下

2. 放射性物質分析・研究施設の概要(3/3) 第2棟の目的と設計条件

■第2棟の目的:

- ・ 1Fで発生した燃料デブリ等の性状を把握することにより、その安全な取り出し等の作業の推進に資する情報を取得するため、分析等を行うことを目的とする。

■設計条件:

- ・ 受入対象物: 燃料デブリ等(燃料条件は1F事故時の炉内燃料を想定)
- ・ 形状: 粉(フィルタ)、粒、塊、スラッジ等
- ・ 受入量: 受入1回当たり5kg以下(にぎりこぶし大)
- ・ 受入回数: 年間12回を想定(1度に複数試料の受入も可。分析点数は分析項目次第、迅速分析可能な項目に限定すれば多数の分析も可。設備設計においては、年間12試料について概ね全ての分析項目を分析できるよう想定。)
- ・ 輸送容器: サイドローディング型又はトップローディング型
- ・ 備考: 分析装置の校正等に必要なRI、核物質の標準試料を扱う(RIについては別途申請)

■第2棟整備に係る状況:

- ・ 分析項目は2017年度末に概ね確定。同時期に設計仕様を確定、2018年度初頭より詳細設計を実施中。なお今後の炉内状況調査、或いは分析試験で得られる新たな知見については、都度その時点で可能な範囲で詳細設計、実施設計、分析方法の具体化等に反映していく。

※) 炉内を燃料デブリの性状が異なると考えられる9区域に区分し、それぞれから8点採取: 72試料/基
3基分の総試料数を20年にわたり分析 72試料/基 × 3基 × 110%※/20年 = 約12試料/年 ※裕度: 10%

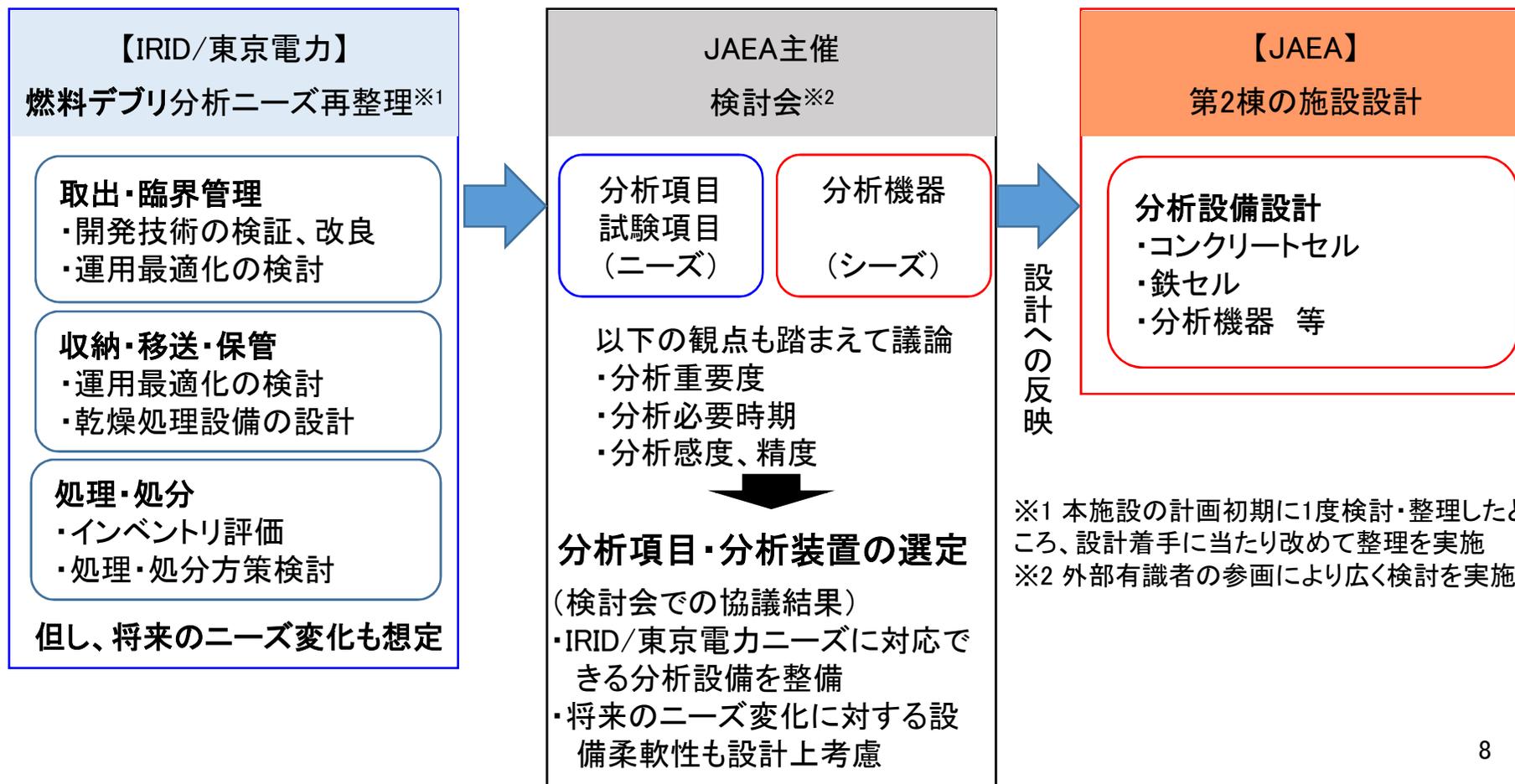
3. 燃料デブリの分析に係る検討経緯

- 事故直後よりTMI-2事故対応の調査を実施、その際に実施した燃料デブリ分析にかかる情報(燃料デブリの難溶性等)も収集。
- 2011/12の中長期ロードマップ(初版)別冊の研究開発計画より、将来の燃料デブリ分析について記載。分析にかかる技術開発に着手。
- 2013年度、技術研究組国際廃炉研究開発機構(IRID)発足、同組織においてJAEAを中心メンバーとする燃料デブリの性状把握等に関するプロジェクト(PJ)を立ち上げ。以降同プロジェクト等において、IRIDにおける他PJと協力しての分析ニーズのとりまとめ、分析フローの検討、分析課題及びその解決のためのR&Dを実施。
- 2013年に放射性物質分析・研究施設計画開始、以後JAEA・IRID・東京電力にて連携して検討を実施。

4. 第2棟における分析項目の選定について(1/6)

概要

- ① 廃炉に直接貢献する分析を実施する観点で、東京電力、IRIDにて廃止措置の各工程（取り出し、収納・移送・保管、処理・処分）においてどのような分析ニーズ（分析項目と対応する装置）があるのかを議論。
- ② 上記を踏まえ、JAEAは項目と装置の対応や各項目の重要性と優先度について関係機関を含む有識者を交えて整理。
- ③ 上記を踏まえ、JAEAとNDF、東京電力間で協議のうえ、改めて廃炉作業上の必要性を考慮して導入する設備を検討中。



4. 第2棟における分析項目の選定について(2/6) IRID/東京電力による燃料デブリ分析ニーズ再整理

- 燃料デブリの取り出し、取出し中の臨界管理、収納・移送・保管、処理・処分の廃炉作業実施にあたり必要となる分析項目を検討。
- 目的／分析項目概要／分析項目詳細を整理、総合的な優先度を設定。分析項目詳細においては、装置レベルでの検討を実施。
- なお研究開発の進捗及び燃料デブリ取り出し工程の具体化等に伴ってニーズは変動しうることを前提に整理。
- 分析目的の検討例：
 - 取出しに係る目的①:運用改善
 - (概要)取出し工法の検討や装置の設計に用いた設計条件との差異を確認し、フィードバックが必要な場合には装置改良等を実施。
 - フィルタを用いた粒子状燃料デブリの回収時に粒径等を把握し、フィルタ種類の妥当性確認、改良可能性の検討に貢献。
- 分析項目詳細の検討例：

大項目	小項目	分析技術/装置	取得する分析データの内容	取出	臨界	保管	処理・処分	必要分析点数の考え方
I. 基礎物性	02.寸法(粒径)	ふるい分け装置	粉体の粒度分布	○	×	×	×	サンプル毎
II.機械的特性	01.硬さ	マイクロビッカース	燃料デブリの硬度の測定	○	×	×	×	サンプルに含まれるマクロな構造毎、各層毎適宜

4. 第2棟における分析項目の選定について(3/6)

JAEA検討会における検討内容:分析項目の重要度の評価

○廃炉作業について、時間的な緊急性や優先度などを踏まえ、以下の評価基準を設定。

	分類		分類の評価基準
(1)	最重要項目	A	IRIDの各PJについて、取出し、取出し時の臨界評価の工程に必要な分析項目
(2)	重要項目	B	収納・移送・保管のほか、処理・処分を含む全工程を考慮し、最重要項目に次ぐもの
(3)	やや重要な項目	C	全工程を通じて、優先度の分類でA、B以外に整理される項目
(4)	未評価		東京電力/IRIDニーズで不要、試験方法等が未定の項目

○東京電力/IRIDにてとりまとめた分析ニーズについて、上記の評価基準に基づき、各分析項目の重要度を整理。

	分類		分析項目
(1)	最重要項目	A	I -01 形状(粉/粒/塊)、化学形態、表面状態 I -02 寸法(粒径) I -05 組成-U/Pu含有率 I -06 組成-Fe,Cr,Ni等含有率(SUS等由来) I -07 組成-ホウ素含有率(B ₄ C等由来) I -08 組成-Gd含有率 I -09 組成-U同位体組成 I -12 組成-FP,CP,アクチノドの核種毎の含有率 II -01 硬さ II -02 じん性 IV-01 線量率
(2)	重要項目	B	I -03 密度-真密度 I -04 密度-空隙率(気孔率) I -10 組成-塩分濃度 I -11 有機物含有量 I -13 含水率 I -14 水素発生量 III-01 熱伝導率(III-4 熱拡散率) III-02 熱挙動 IV-02 発熱量
(3)	やや重要な項目	C	VI-07 加熱時FP放出挙動
(4)	未評価		II -03 圧縮試験、III-3 熱膨張率、III-05 融点、 V-01～-05 その他(特性)、VI-01～-06,-08,-09 試験

4. 第2棟における分析項目の選定について(4/6) JAEA検討会における検討内容: 検討結果の概要

	分析ニーズ(分析データの反映先)	分析・試験項目
初期(燃料デブリの取出開始から10年程度)	燃料デブリを構成する物質の由来等の推定への反映等	組成-U/Pu含有率 組成-Zr,Fe,Cr,Ni等含有率(SUS等由来) 組成-U同位体組成 組成-FP、CP、アクチニドの核種毎の含有率
	取出等の技術開発に当り想定した条件の妥当性の確認、インベントリ管理への反映等	線量率
	取出等の技術開発に当り想定した条件の妥当性の確認等	形状(粉/粒/塊)、化学形態、表面状態
	燃料デブリの取出し工程への反映等	硬さ、じん性
	粒子状の燃料デブリの取出し工程への反映等	寸法(粒径)
	臨界管理への反映等	組成-B含有率(B ₄ C等由来) 組成-Gd含有率
中期(燃料デブリ取出開始後5~20年程度、当初計画範囲)	粒子状の燃料デブリの取出し工程への反映、重量評価への反映等	密度-空隙率(気孔率)
	保管における腐食に係る評価への反映等	組成-塩分濃度等
	保管に係る燃料デブリの物質同定への反映等	密度-真密度
	保管時における水素発生量評価への反映等	含水率
	水素発生源としての有機物量の考慮への反映等	有機物含有率
	保管における安全評価への反映等	水素発生量
後期燃料デブリ取出開始後10年~)	保管における燃料デブリの安定性評価への反映等	熱挙動
	処理・処分の検討における安全評価への反映等	発熱量
	処理・処分の検討における安全評価への反映等	熱伝導率
未評価	保管における安全評価への反映等	加熱時FP放出挙動
	具体的な試験方法等が未定、または現在において分析結果の明らかな反映先がないもの。	圧縮強度 熱膨張率 融点、その他試験等

赤字：最重要項目、青字：重要項目、緑字：やや重要な項目

4. 第2棟における分析項目の選定について(5/6)

選定した分析項目

- 検討会の結果を踏まえ、JAEA、NDF、東京電力間で協議のうえ、改めて廃炉作業上の観点を考慮して導入する設備を検討中(一部は将来設置を想定)。
- 第2棟と1F構外既存分析設備で廃炉作業に必要な分析項目を実施できる体制を構築することを目指す。
- 分析ニーズは設計・建設・運用中にも変わりうるとの認識のもと、柔軟な対応を目指す。

【成果の反映先】	⑤	④	③	②	①
① 取出し時の臨界安全の確認					
② 取出し作業時の線量、ガス挙動の把握					
③ 取出し工法へのフィードバック					
④ 収納・移送・保管にあたっての安全確認・評価					
⑤ 処理・処分方策の検討					
【第2棟の分析項目】					
線量率			○	○	
核種インベントリ、組成	○*	○		○	○
形状、化学形態、表面状態			○		
寸法(粒径)			○		
密度(空隙率)		○			
硬さ、じん性			○		
熱伝導率、熱拡散率	○				
組成(塩分濃度、SUS等含有率)	○	○	○		
有機物含有量	○	○			
含水率		○			○
水素発生量		○			
加熱時FP放出挙動	○	○		○	

※次頁参照

4. 第2棟における分析項目の選定について(6/6)

分析項目における処理・処分に係る核種の扱い

- 1) 燃料デブリの取出し、取出し時の臨界管理、収納・移送・保管等において必要となる基礎的な分析項目(赤枠内)は、核種分析(紫色部)も含め優先して実施する。
- 2) その他、1F廃棄物の処理・処分方策の検討に係る核種(青枠内)の選定が行われている(参考2参照)。同核種の分析は、デブリの処理・処分に係る検討にも有用と考えられる。よって、1)と重複しない核種(青色部)についても、処理・処分技術検討のための分析は緊急性が低いことから、施設運用開始の時点で実施するか否かは引き続き検討するが、設計段階では分析環境を準備しておく。

なお「基礎的な分析項目」「燃料デブリの処理・処分検討に係る核種」とも今後変更されうるところ、それらの検討、選定についても、JAEA、NDF、東京電力が密に連携して進めていく。

燃料デブリの基礎的な分析

・線量率、形状、化学形態、表面状態等

燃料デブリの基礎的な核種分析

・U, Puの同位体分析
・TRU(α 核種)の同位体分析
・主要線源(Cs-137, Sr-90等)等

燃料デブリの処理・処分検討に係る核種分析

5.第2棟の現行想定分析フロー案

○燃料デブリの分析で想定される分析フロー図を以下に示す。
 主な測定は鉄セル、グローブボックスで行われる。

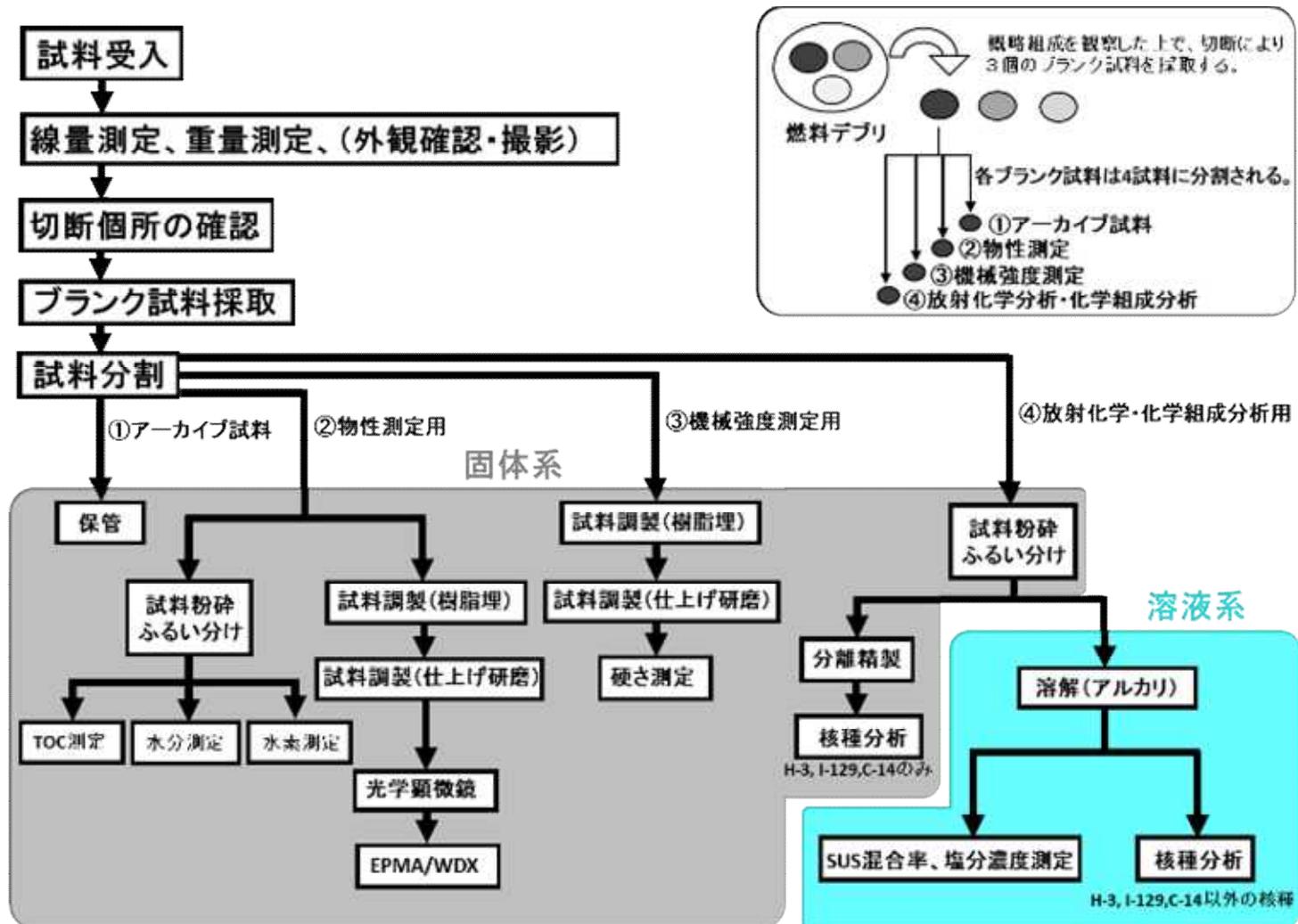


図 燃料デブリ分析フローのイメージ(案)

6. 燃料デブリ分析に係る技術課題の検討(1/7) 分析ニーズの整理と技術開発の洗い出し例(2014年度版)



・取出し、臨界、収納・移送・保管、(計量、)廃棄物、事故進展各PJからニーズを調査し、整理

・ニーズに合わせて分析方法を具体化
・技術課題の洗い出し

ニーズ(抜粋)	用途
基礎特性(形状、寸法)	基本情報の収集
密度、空隙率、含水率	インベントリー評価、水素発生量の推定、事故進展
元素定量(組成)	計量管理、保管検討情報、事故進展
核種定量(インベントリー)	インベントリー評価、保管検討情報、事故進展
化学形態(表面観察)	取出し工法リスク評価、事故進展
機械的物性 熱的物性	取出し工法リスク評価、事故進展
燃焼・爆発特性 デブリ乾燥特性 水素発生特性	保管検討情報

ニーズ(抜粋)	分析装置	方法に伴う技術課題
形状、寸法	ペリスコープ、光学、電子顕微鏡	・特になし
密度、空隙率、含水率	X線CT他(非破壊測定)	・X線CTの適用性評価 * 2014年度から着手
元素定量(組成)	ICP-AES他	・ <u>難溶性デブリ溶解方法</u> ・ <u>ICP-AES定量性評価</u>
核種定量(インベントリー)	α,γスペクトル、TIMS他	・難測定核種の分析方法 * 廃棄物PJで実施中
化学形態(表面観察)	SEM/EDX/WDX、XRD	分析方法の検討 * 2014年度実施済み
機械的物性 熱的物性	ビッカース硬度 レーザーフラッシュ法他	・試験片作製方法の検討 * ニーズ再調査後技術開発実施
燃焼・爆発特性 デブリ乾燥特性 水素発生特性	既存装置なし	・試験方法の検討/装置考案 * 取得データ確認後検討開始

共通課題:分析装置の改造設計

6. 燃料デブリ分析に係る技術課題の検討(2/7) 分析技術開発事例①溶解技術開発(2015年度)

成果概要

- 2014年度までのTMI-2事故に係る文献調査より、燃料デブリの難溶性に係る情報を得て、RPV内燃料デブリの主成分と考えられる(U,Zr)O₂等を模擬物質とした溶解試験を実施。加圧酸溶解法、アルカリ融解法（複数融剤を考慮）、アンモニウム塩(NH₄HSO₄)融解法等のうち、Zrが多い場合でも溶解可能なNa₂O₂を融剤に用いたアルカリ融解法が最も優れている（他はZrが多い場合等残渣が残る条件がある）ことを確認。
- これを踏まえ、2015年度にTMI-2燃料デブリ試料に対する適用性確認実験を実施。同試験では、アルカリ融解法とアンモニウム塩融解法のいずれも概ね溶解できることを確認。（但し、アルカリ融解法では一部のサンプルの溶解について沈殿有（金属相の銀によるものと推察）。）今後実試料等により溶解条件の最適化等の検討が必要。



- TMI-2デブリを含む模擬試料を用いた試験によるアルカリ融解法をベースに燃料デブリを溶解できる見通しを確認。
- MCCI生成物等、模擬性の確証はないため、1F燃料デブリによる確認が必要。



TMI-2燃料デブリ試料溶解試験結果

試料番号	試料採取量(mg)	試料分解法	目視による溶解状況	溶解液中の主な元素の分析結果(%)						
				U	Zr	In	Cr	Fe	Ni	Ag
M11-P10 クラスト	100	アルカリ融解法	完全溶解	42	14	1.7	0.3	0.5	--	0.0
	154	アンモニウム塩融解法	完全溶解	53	18	0.2	0.3	0.5	0.1	0.0
G-8-P6-A 溶融プール	112	アルカリ融解法	完全溶解	22	8.3	1.4	0.2	0.5	--	0.0
	77	アンモニウム塩融解法	完全溶解	37	14	0.1	0.3	0.6	0.1	0.0
N5-P1-F 溶融プール	137	アルカリ融解法	沈殿有	12	4.3	4.5	0.2	0.3	--	17.4
	43	アンモニウム塩融解法	完全溶解	7.0	2.5	0.3	0.1	0.3	0.1	16.5

6. 燃料デブリ分析に係る技術課題の検討(3/7)

分析技術開発事例②アルカリ融解法を前提としたICP-AES分析(2015年度)

成果概要

・2014年度に、難溶性の燃料デブリはアルカリ融解法で溶解できる見通しを得た。このため、同法採用による影響が後段のICP-AES測定への影響及びその解決法を検討した。

①溶解手順の構築

- ・アルカリ融解法はるつぼの成分が溶解液に混ざる可能性があるため、その影響評価が必要。検討の結果、Niは他元素測定に干渉しないことがわかったため、汎用性が高いNiるつぼを選定した (Ni測定時にはアルミなるつぼを用いる)。

②ICP-AES測定方法の構築

- ・定量分析対象のうち11元素(Zr, Fe, Gd, Al, B, Ca, Cr, K, Mg, Ni*, Si)の分析線について、分光干渉の影響を評価し、考慮した元素間相互の分光干渉の影響がない分析線を選定した。
- ・定量分析対象のうち11元素(Zr, Fe, Gd, Al, B, Ca, Cr, K, Mg, Ni*, Si)について、Naによるイオン化干渉**の影響を把握した。



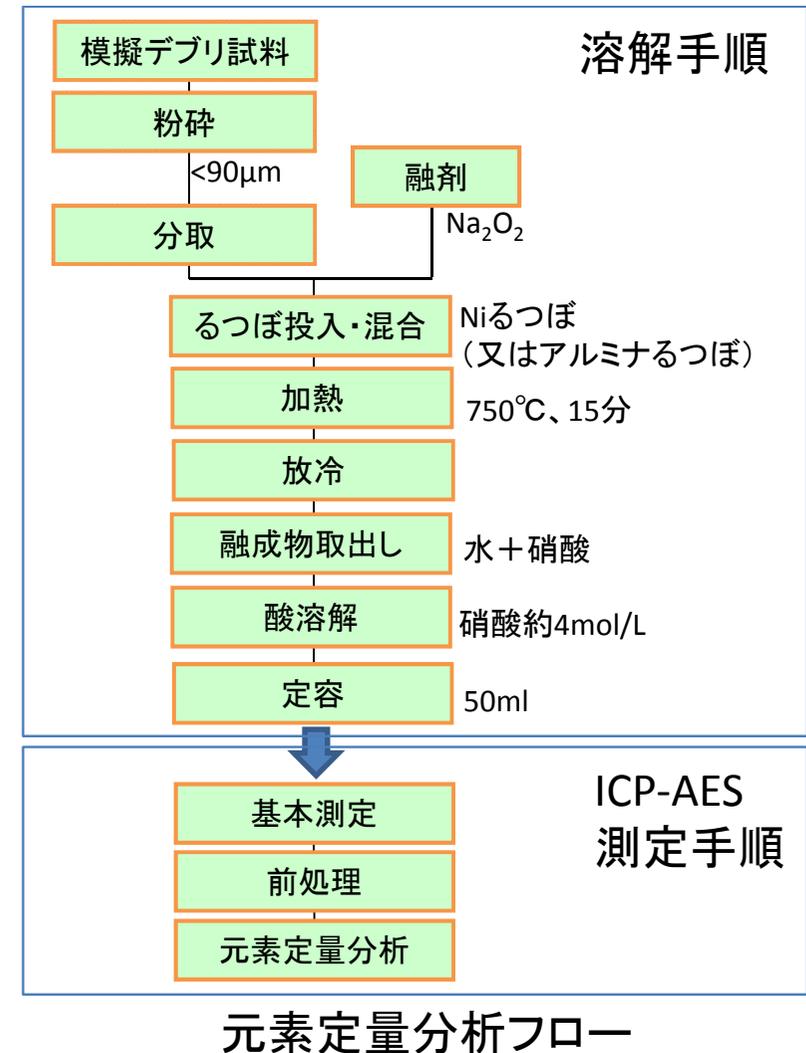
■アルカリ融解法による溶解液についてICP-AESを用いた測定が可能で見通しを得た。

選定した分析線

元素	波長(nm)	備考	元素	波長(nm)	備考
Al	394.4032	BG、Gdの軽微干渉	K	766.4907	
B	249.6778		Mg	280.270	第2分析線
Ca	396.8468		Ni	361.939	第5分析線
Cr	425.4346		Si	288.1578	Gdの軽微干渉
Fe	358.1195		Zr	343.3230	第2分析線
Gd	342.2466		Na	589.5923	

* アルミなるつぼを利用予定

**イオン化しやすい元素が共存する場合に、イオン化平衡がずれて、発光強度が変化する現象



元素定量分析フロー

6. 燃料デブリ分析に係る技術課題の検討(4/7)

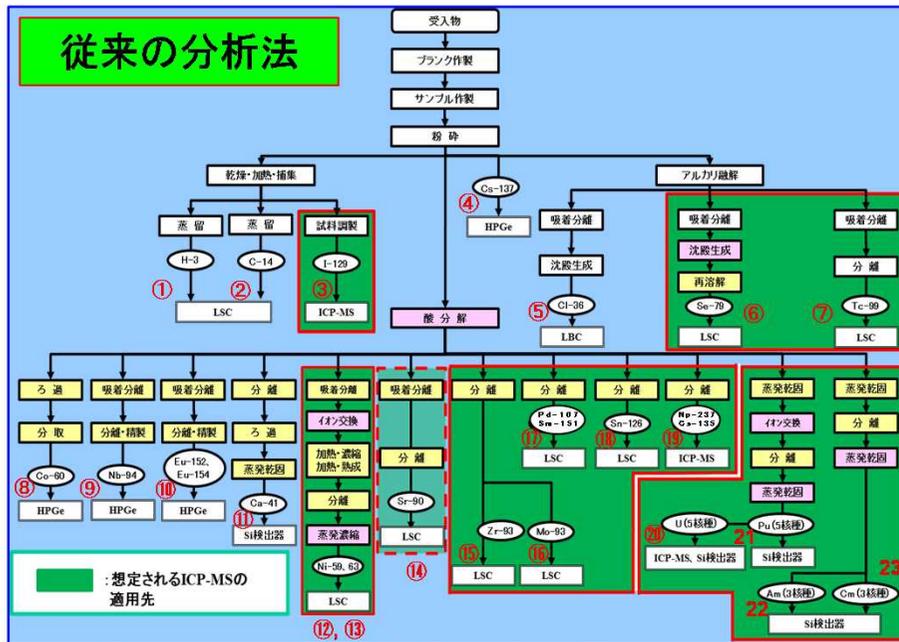
分析技術開発事例③新型ICP-MSを用いた多核種同時分析法の開発(1/2)概要

本技術開発によるプロセス合理化の概要:

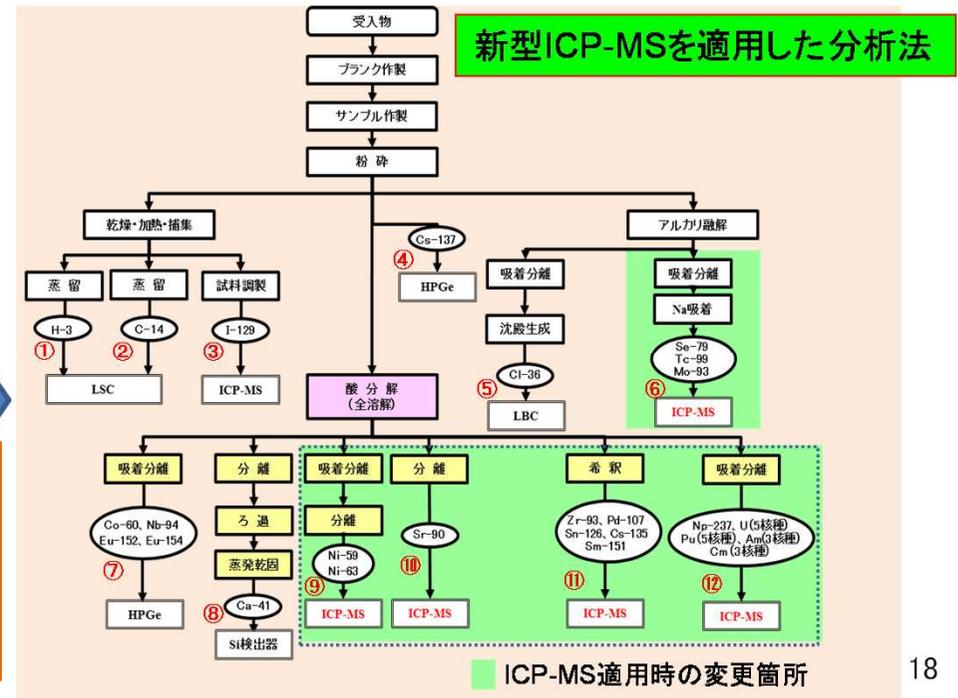
課題認識: 第1棟、第2棟ではそれぞれの試料について非常に多くの核種を分析する必要のあるところ、工程合理化による省力化/省時間化/省廃棄物化等の要請大。

⇒ 従来法では液体シンチレーションなど前処理作業時間が比較的にかかる方法で測定していた多数の核種を新型ICP-MSによる測定に切り替え、それを前提に全体フローを見直すことで、分離・前処理工程の大幅な合理化を検討。

- ・液体シンチレーション : 12→2核種
- ・α線スペクトル : 16→1核種
- ・低バックグラウンドβ線 : 1→1核種
- ・γ線スペクトル測定 : 5→5核種
- ・ICP-MS : 4→29核種



HPGe: γ線スペクトロメータ、LBC: 低バックグラウンドβ線測定装置、LSC: 液体シンチレーションカウンタ、Si検出器: α線スペクトロメータまたはβ線スペクトロメータ、ICP-MS: 誘導結合プラズマ質量分析装置



ICP-MS適用時の変更箇所

○新型ICP-MSの導入を前提に全体フローを最適化

・「従来分析法」の緑色部を「新型ICP-MSを適用した分析法」の黄緑部で置換することにより、分離・前処理工程が大幅に合理化(工程数減)

6. 燃料デブリ分析に係る技術課題の検討(5/7)

分析技術開発事例③新型ICP-MSを用いた多核種同時分析法の開発(2/2)開発の現状

- 各対象核種に係るリアクションガスを選定し、検出下限値を測定(表1)。
- 妨害核種について新型ICP-MSのみで排除し測定した場合の影響度を確認(表2)
- 概ねの核種について適用性を確認。
- 長半減期核種については、放射能測定に匹敵する検出下限値が得られる一方、短半減期核種については性能が落ちることを確認。



- 燃料デブリの分析により、期待される検出下限値が実際に得られるかどうか、予期しない妨害元素の影響がないかどうかを確認し、期待される精度と共に要求を満たす核種について、従来法からの代替を進める。
- アクチニドについては試験未実施だが、長半減期核種(U-235,U-238,Np237等)は本法が有利と期待される。

表1 核種分析の検出限界値とバックグラウンド相当濃度

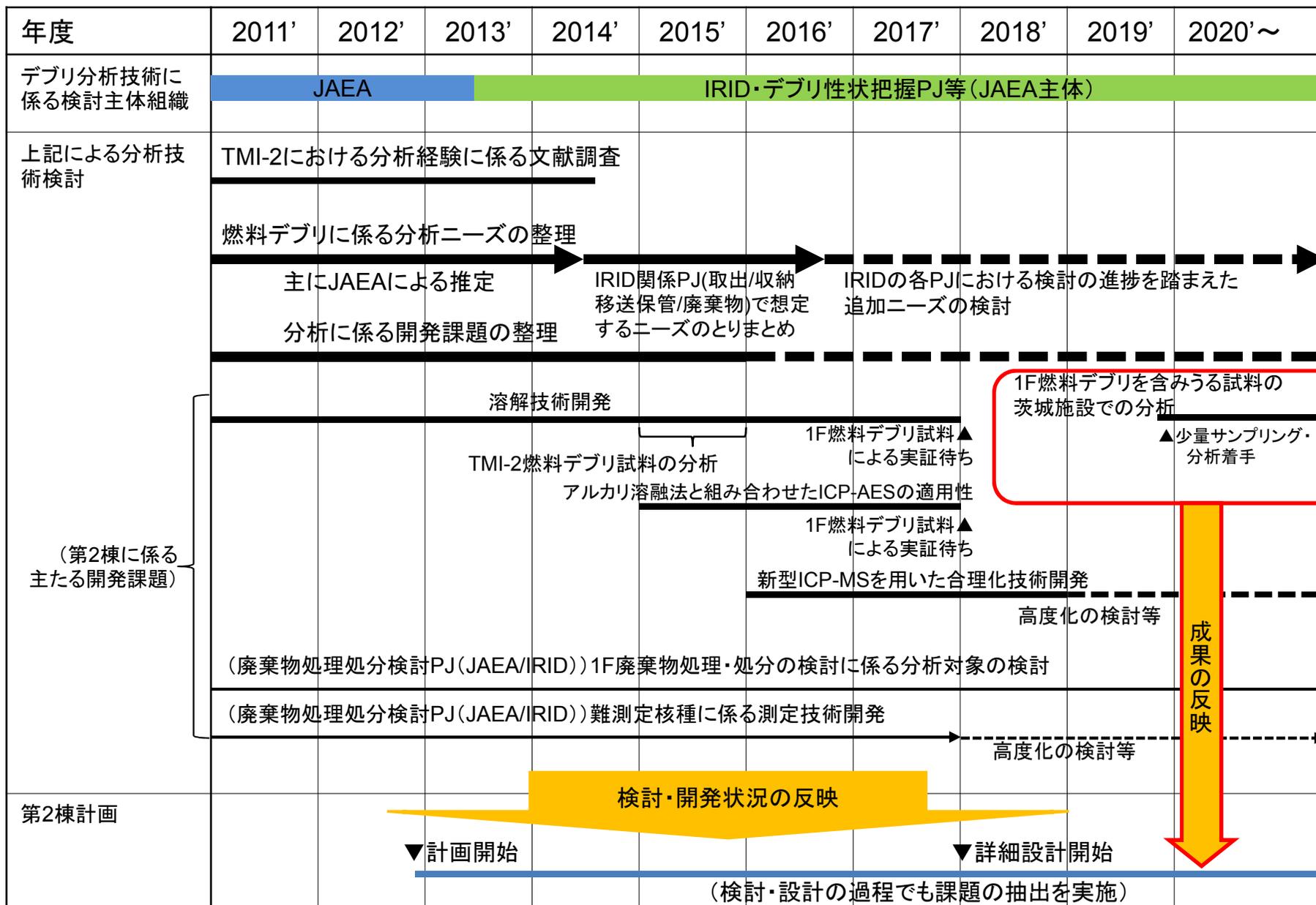
測定対象核種	半減期 (year)	リアクションガス		マスシフト +m/Z	元素標準試料を用いた基礎試験結果		
		種類	流量 (mL/min)		装置検出限界 [ppb]	BEC [ppb]※	BEC [Bq/g]※
Ni-59	7.60E+04	N ₂ O	2	0	2.4E-02	1.2E-01	3.5E-01
Ni-63	1.00E+02	NH ₃	3	51 (63-114)	8.0E-04	1.4E-03	2.9E+00
Se-79	2.95E+05	O ₂	0.3	0	3.5E-03	2.3E-02	1.3E-02
Zr-93	1.53E+05	NH ₃	3	102 (93-195)	3.3E-05	1.3E-05	1.2E-05
Mo-93	4.00E+03	NH ₃	3	0	3.3E-05	3.4E-06	1.2E-04
Sr-90	2.90E+01	O ₂	0.3	0	3.3E-05	4.3E-05	2.2E+00
Pd-107	6.50E+06	NH ₃	3	51 (107-158)	6.7E-04	5.9E-04	1.1E-05
I-129	1.57E+07	O ₂	0.3	0	3.5E-04	5.7E-04	3.7E-06
Cs-135	2.30E+05	N ₂ O	2	0	7.2E-05	1.5E-05	6.4E-06
Sm-151	9.00E+01	NH ₃	3	16 (151-167)	7.8E-05	3.6E-05	3.5E-02

表2 妨害核種の影響

測定対象核種	考えられる安定同位体核種(試料マトリクス) によるスペクトル干渉	
	妨害核種	影響度 〔測定対象核種への影響〕
Ni-59	Co-59	9.4E-02
Ni-63	Cu-63	1.0E-02
Se-79	Br-79	2.3E-02
Zr-93	Nb-93	4.4E-04
	Mo-93	1.7E-03
Mo-93	Nb-93	9.1E-04
	Zr-93	4.7E-04
Sr-90	Y-90	8.1E-03
	Zr-90	8.9E-03
Pd-107	Ag-107	1.8E-02
I-129	Xe-129	2.2E-03
Cs-135	Ba-135	1.2E-04
Sm-151	Eu-151	3.5E-03

※ バックグラウンド相当濃度

6. 燃料デブリ分析に係る技術課題の検討(6/7) これまでの検討状況



6. 燃料デブリ分析に係る技術課題の検討(7/7)

その他の課題(燃料デブリの適用性が事前に確認しがたいもの)

■第2棟の設計において認識されている、事前に適用性が確認しがたい課題:

- 高線量物を対象とする固体分析:燃料デブリの分析経験はほとんどないほか、XRF(蛍光X線分析)等いくつかの装置は、高線量試料を対象とした経験が少なく、類似の検出部を用いた装置の使用済燃料の分析経験等を参考に設計している。
これらについては、特に燃料デブリにおける適用時の線量等の影響について、燃料デブリを対象とした実際の測定にて確認が必要。
- 初期前処理装置:大きな塊状のデブリに相当するような試料をホットラボで取扱った経験は無く、切断等についてコンクリートセル内への導入を予定している機器でどの程度の時間でどの程度適切に扱えるかは実際の取り扱いが必要。
- 上記の他、分析して初めて判明する課題が生じるおそれがあることから、少なくとも燃料デブリの分析着手後暫くは、分析自体がR&D的な面を持つものと理解。

■当初想定できない分析ニーズも今後発生されると予想される。こうした課題や新規ニーズに対する柔軟な対応を目指す。

具体的には、レイアウトにおいて将来の拡張性を考慮(鉄セル1基分の他GB・フードの増設可能なスペースを確保)している。

7. 第2棟のその他の仕様について(1/4) 建築概要、主要設備、放射性廃棄物の扱い

1. 建築概要

- 延床面積: 約2,940 m²
- 階数: 地上2階、地下1階
- 建物高さ: 約18m(排気口除く)
- 耐震: 高線量物を扱うコンクリートセル等についてBクラスとする

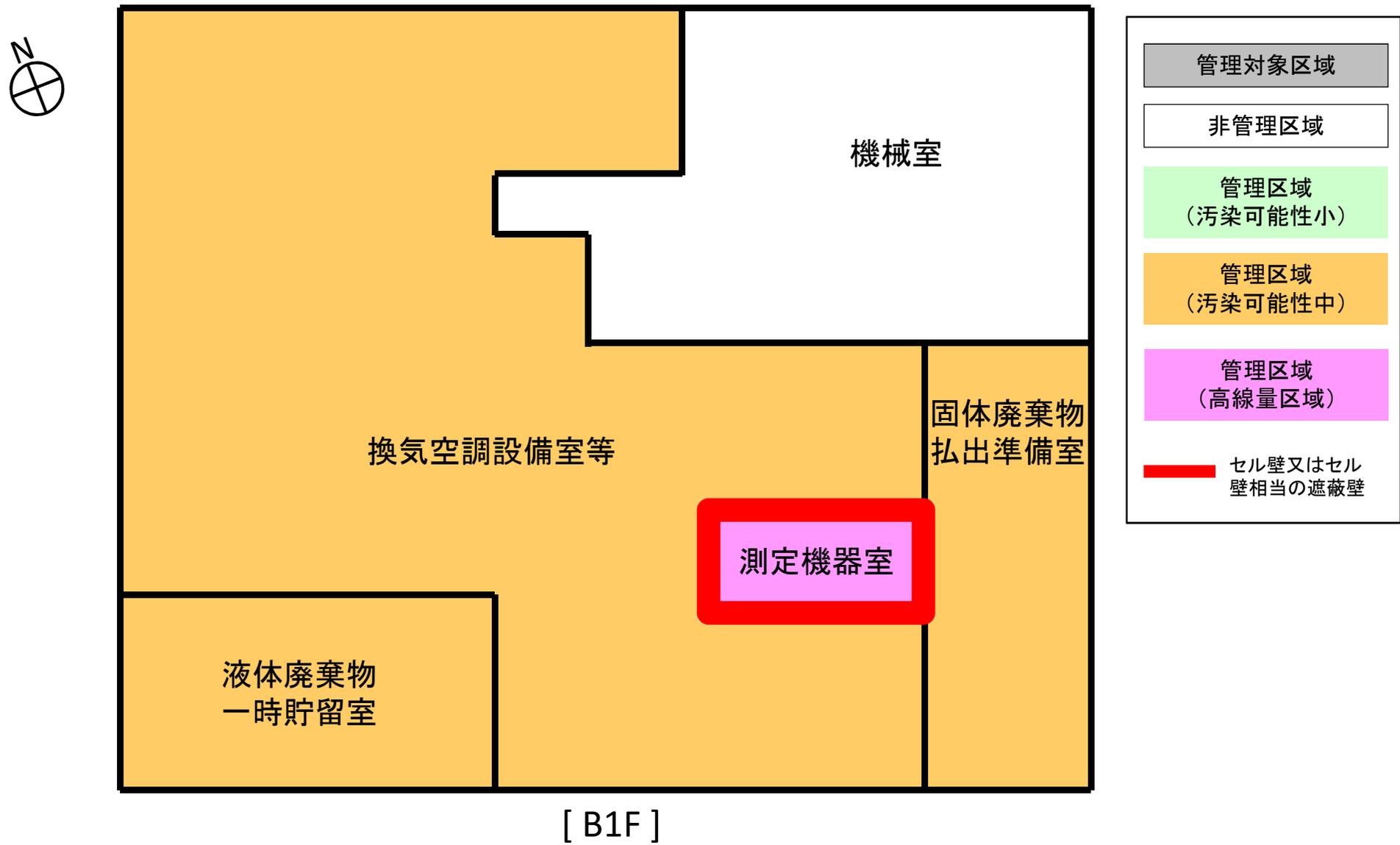
2. 主要設備

- コンクリートセル4、大型鉄セル、グローブボックス、フード
- 試料保管設備(再分析用含む)
- 分析ニーズは設計・建設・運用中にも変わりうるとの認識の下、柔軟な対応を目指すべく、設備レイアウトには拡張性を確保

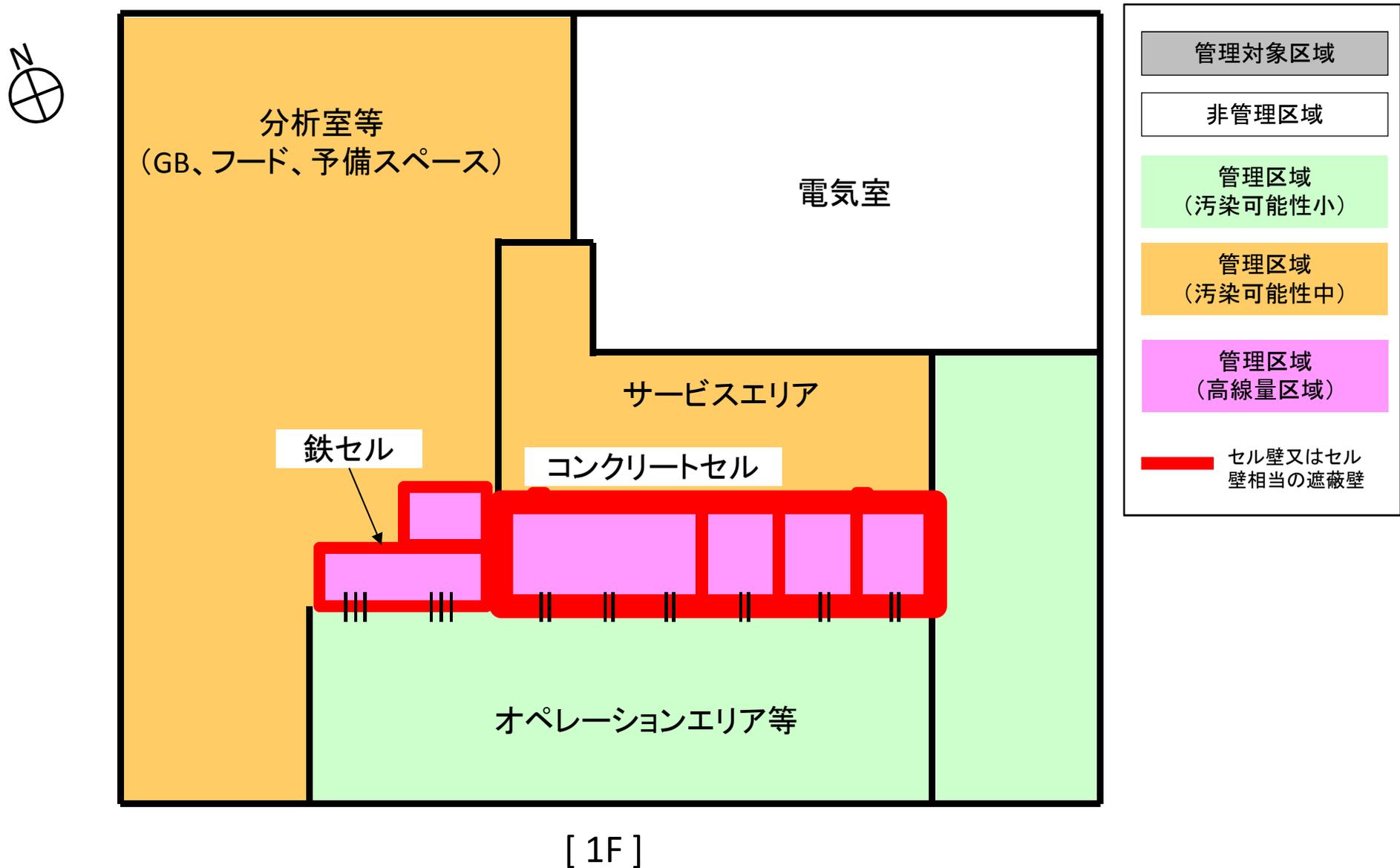
3. 放射性廃棄物の扱い

- 分析残試料、高レベル固体廃棄物、低レベル固体廃棄物、低レベル液体廃棄物は1F内の適切な施設に払い出す(高レベル液体廃棄物は第2棟内で固化を行う)
- 気体廃棄物は放射性物質を十分低い濃度になるまで除去した後、排気口から放出する

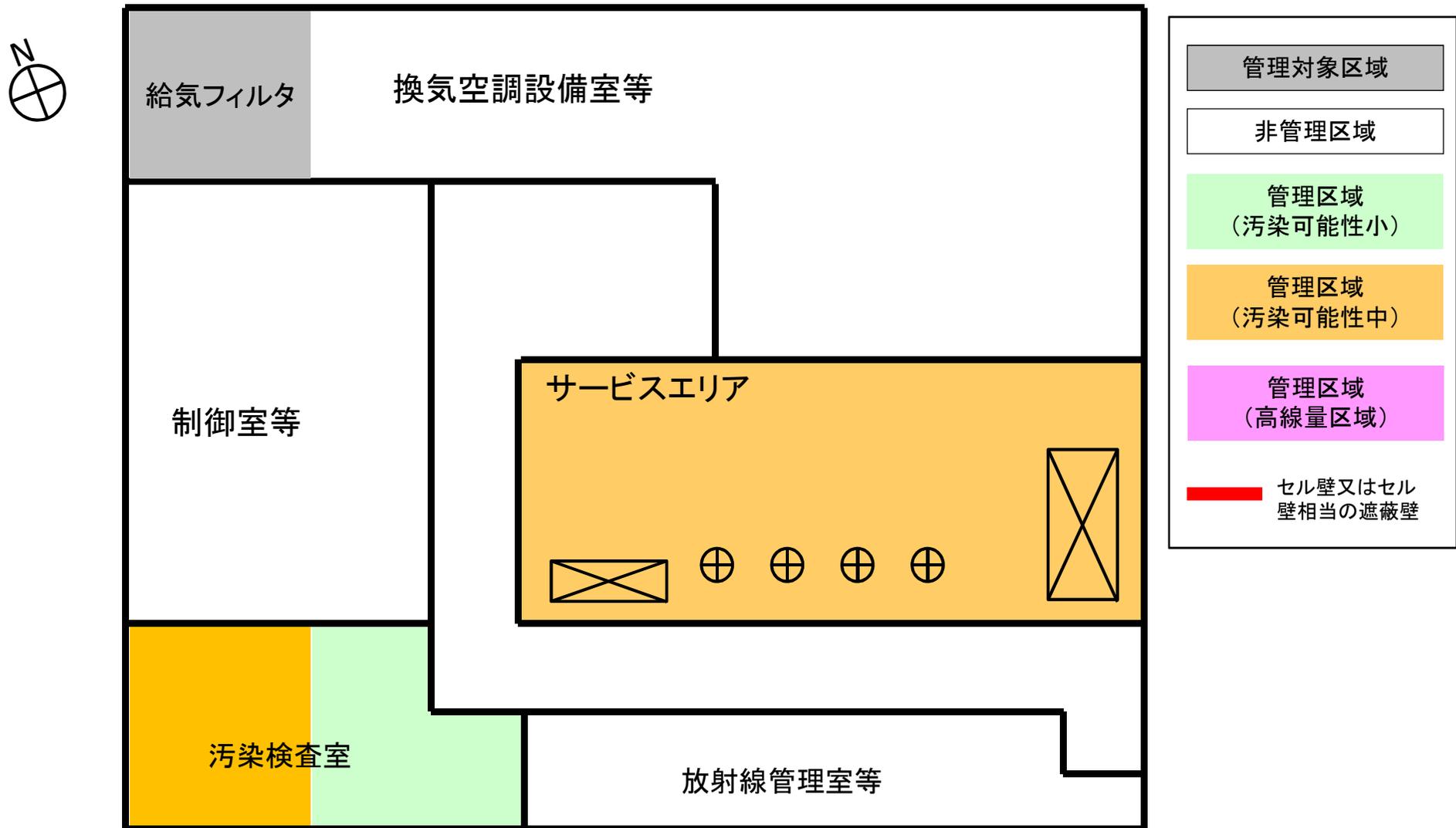
7. 第2棟のその他の仕様について(2/4) 第2棟の設備レイアウトイメージ(現行案)(1/3)



6. 第2棟のその他の仕様について(3/4) 第2棟の設備レイアウトイメージ(現行案) (2/3)



7. 第2棟のその他の仕様について(4/4) 第2棟の設備レイアウトイメージ(現行案) (3/3)



[2F]

(以下参考資料)

(参考1) TMI-2事故後の燃料デブリ出し作業における分析実績の調査

- 第2棟の検討に先立って、TMI-2において燃料デブリの取り出し等への貢献を主目的としていたと考えられるサンプリング・分析について調査を実施。
- 上記観点からは、1982年から1987年にかけて分析を実施。各分析は内部調査の一環として、内部の損傷状況の推定に反映され、その結果は取出しにも反映されたものと推定。一部については取出し作業への貢献を意識した分析項目(粒度分布(フィルタ関係)、材料(取出しツール・方法)等)の他、試験的項目(穿孔・切断特性及び圧搾特性、強磁性・自燃性テスト、セシウムの放出・沈着(濁度及びエアボーン核分裂生成物の放出)テスト)等実施。
- サンプリング位置については50か所前後と見積り。

(参考2) 廃棄物の処理・処分に係る分析核種の選定について(1/3)

- 1F事故の数年後より、JAEA既存施設において、廃棄物に係る処理・処分方策の検討への貢献を目的とした分析に着手した。
- この分析に当り、以下に示す検討を実施し、当面分析を目指す核種として38種類の核種を選定した(これらの核種には、測定が難しい所謂難測定核種も含まれており、それらの測定に係る技術開発も並行して進めている)。
- ただしここで選定した核種は暫定的なものであり、原子力事故廃棄物の処理・処分にに向けた研究開発において見直しを進めている。
- 第1棟における分析対象核種も上記を想定して設計を進めている。但し、上記の核種見直しで対象核種が変われば、第1棟における分析対象核種も見直しを行うことになると考えている。

(参考2)廃棄物の処理・処分に係る分析核種の選定について(2/3)
核種の選定について(1/2)

- 1F廃棄物に対する処理・処分方策を検討するためには、その中に含まれる放射性核種の種類と放射能濃度を詳細に把握することが必要となる。
- 当初、分析対象とした核種は、1F事故前の国内における各種処分に関する検討において、重要度が高いとされた核種から選定した。具体的には次に挙げる4種の検討から核種を選定した。
 - ① 「低レベル放射性廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について参考資料3」※¹においてトレンチ処分、ピット処分、余裕深度処分^{注1}を対象に原子炉廃棄物とサイクル廃棄物のいずれかに含まれる核種のうち相対重要度D/C※²が最大となる核種に対して上位3桁までの核種
 - ② 「TRU廃棄物処分技術検討書－第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ」※²において重要核種に選定されているもの
 - ③ 「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－総論レポート」※³において重要核種に選定されているもの

注1) 現在の中深度処分に相当。

注2) 相対重要度(D/C)とは、処分の対象とする廃棄物の平均放射能濃度(D)と各評価シナリオにおける基準線量に相当する濃度のうち、最小となる濃度(C、以下「基準線量相当濃度」という。)との比をいう。この値が大きいほど安全評価上重要な放射性核種となる。

(参考2) 廃棄物の処理・処分に係る分析核種の選定について(3/3)
核種の選定について(2/2)

- ④ 「日本原燃六ヶ所低レベル放射性廃棄物貯蔵センター(浅地中ピット処分)及びJPDR(浅地中トレンチ処分)の埋設事業許可申請書」※4,5において重要核種に選定されているもの
- 4種の検討における核種の和集合から、娘核種、PWRのみから発生する核種等を除く38核種を選定した。選定した38核種は以下のとおり。
 - ^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{41}Ca , ^{60}Co , ^{59}Ni , ^{63}Ni , ^{79}Se , ^{90}Sr , ^{93}Zr , ^{94}Nb , ^{93}Mo , ^{99}Tc , ^{107}Pd , ^{126}Sn , ^{129}I , ^{135}Cs , ^{137}Cs , ^{151}Sm , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{233}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu , ^{241}Am , $^{242\text{m}}\text{Am}$, ^{243}Am , ^{244}Cm , ^{245}Cm , ^{246}Cm
 - なお、これらの38核種は、暫定的なものであり、原子力事故廃棄物の処理・処分にに向けた研究開発において見直しを進めている。

※1) 原子力安全委員会, 低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について(平成19年5月21日).

※2) 電気事業連合会, 核燃料サイクル開発機構, TRU 廃棄物処分技術検討書—第2次TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ—, JNC TY1400 2005-013/FEPC TRU-TR2-2005-02 (2005).

※3) 核燃料サイクル開発機構, わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—総論レポート, JNC TN1400 99-020 (1999).

※4) 日本原燃, 六ヶ所低レベル放射性廃棄物貯蔵センター廃棄物埋設事業許可申請書(昭和63年4月).

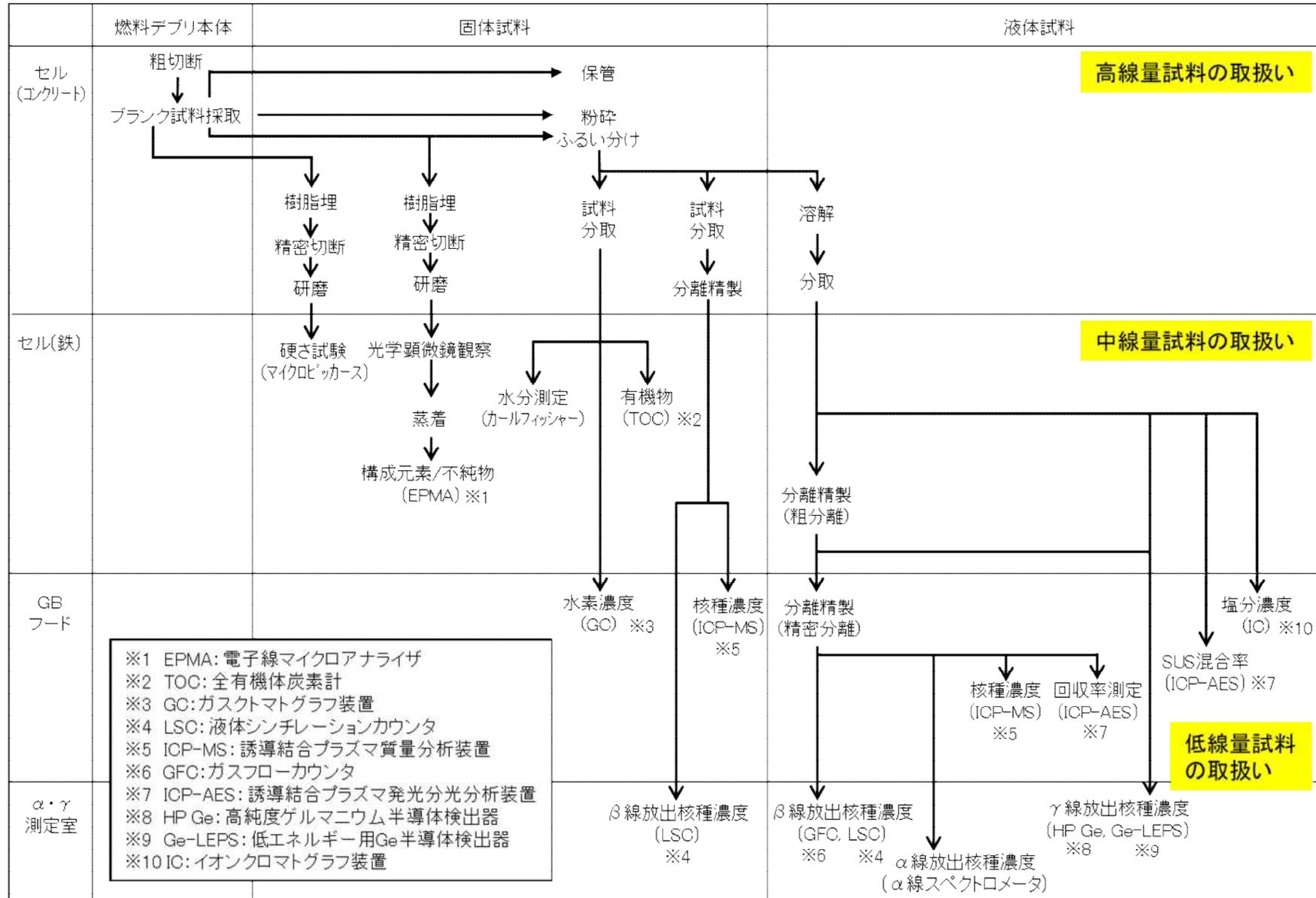
※5) 日本原子力研究所東海研究所, 廃棄物埋設事業許可申請書(平成5年10月).

(参考3) JAEA検討会における検討内容:分析項目で用いる分析装置の紹介

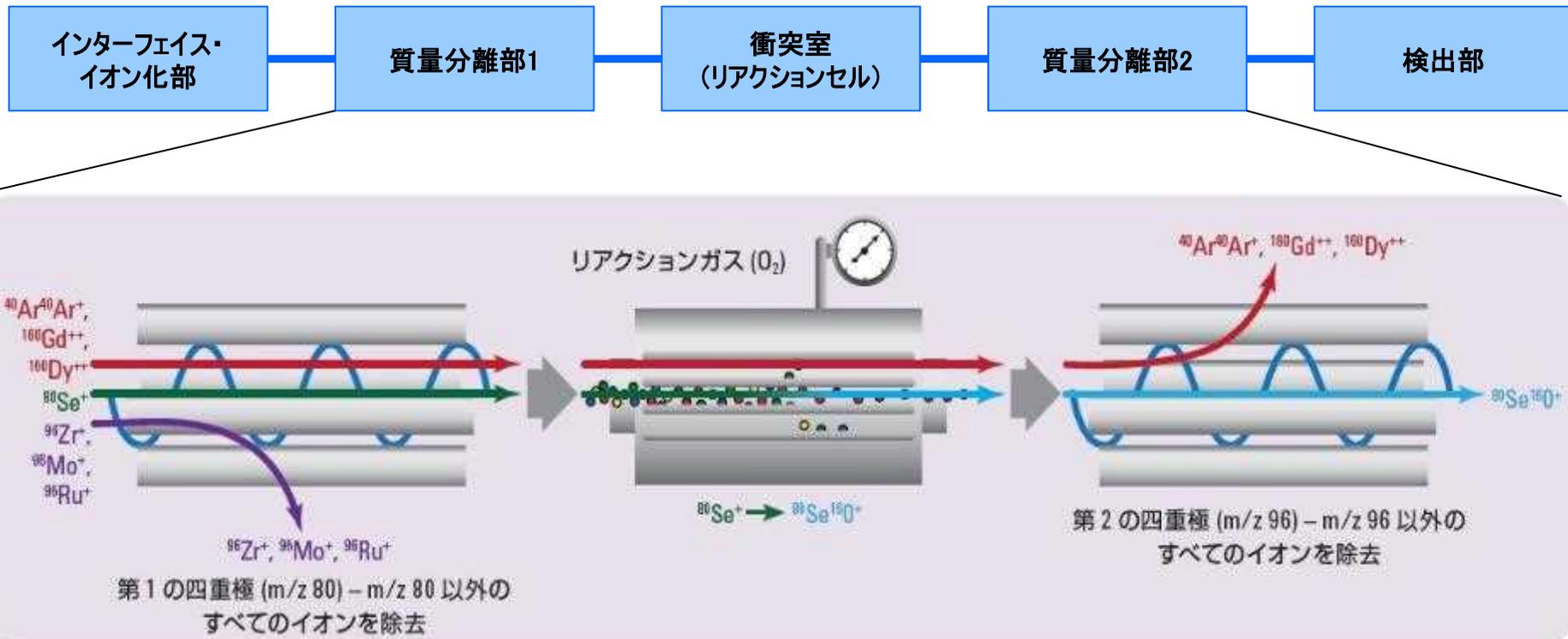
(i) 初期及び(ii)中期、後期に実施する各分析項目で使用する分析装置を以下に示す。

(i) 初期に必要な分析項目と分析装置			(ii) 中期、後期に必要な分析項目と分析装置		
I -01	形状(粉/粒/塊)、化学形態、表面状態、寸法(粒径)	EPMA/WDS,SEM/EDS,XRD,XRF,マイクログラフ,光学顕微鏡	I -14	水素発生量	ガスクロマトグラフ
I -02	寸法(粒径)	SEM,マイクログラフ、(代替:粒度分布計、ふるい分け装置)	II -03	圧縮強度	引張圧縮試験機
I -03,04	密度-真密度、密度-空隙率(気孔率)	密度計(液浸法), X線CT,マイクログラフ	III -01,04	熱伝導率(熱拡散率)	レーザーフラッシュ熱定数測定装置
I -05	組成-U/Pu含有率	α線スペクトロメータ,ICP-MS	III -02	熱挙動	TG-DTA
I -06	組成-Fe,Cr,Ni等含有率(SUS等由来)	ICP-AES,XRF	III -03	熱膨張率	熱膨張計
I -07,08	組成-B含有率(B ₄ C等由来)、組成-Gd含有率	EPMA,ICP-AES,XRF	IV -02	発熱量	DSC、熱量計
I -09,12	組成-U同位体組成、組成-FP,CP,アクチノイドの核種毎の含有率	α線スペクトロメータ,ICP-MS、SEM/EDS,ICP-AES,XRF,γ線スペクトロメータ,ガスフローメータ	V -01~05	燃焼・爆発特性、電気特性、磁気特性、高温特性、高温反応性	(具体的には試験方法等を踏まえ今後検討)
I -10	組成-塩分濃度等	イオンクロマトグラフ	VI -01~09	装置検証、燃料デブリ乾燥特性、水素発生特性、取出時気中放出、取出時水中放出(溶出・浸出)、コロイド形成・挙動、加熱時FP放出挙動、浸出試験、一軸圧縮試験	加熱時FP放出挙動試験装置など (具体的には試験方法等を踏まえ今後検討)
I -11	有機物含有量	TOC,(FT-IR)			
I -13	含水率	重量計、カルフイシャー等			
II -01,02	硬さ、じん性	ビッカース硬さ計			
IV -01	線量率	α線スペクトロメータ,γ線スペクトロメータ,ガスフローメータ			

(参考4) 第2棟の現行想定分析フロー案詳細



トリプル四重極型ICP-MSの概要（分析装置中での妨害イオンの除去）



通常のICP-MSで $^{80}\text{Se}^+$ を測定する場合、m/z 80で検出するところ、同じくm/z 80となる $^{40}\text{ArAr}^+$ や $^{160}\text{Gd}^{2+}$ 等を同時に検出してしまうので、これらを質量分離部の前に排除しなければならない。
本方法では、 ^{80}Se は O_2 ガスのリアクションにより、 SeO^+ となる。質量分離部2と検出部で SeO^+ をm/z 96で測定するので、m/z 80となる $^{40}\text{ArAr}^+$ や $^{160}\text{Gd}^{2+}$ 等は検出されない。
質量分離部2と検出部にm/z 96となる $^{96}\text{Zr}^+$ 、 $^{96}\text{Mo}^+$ 等があれば同時に検出されてしまうが、これらは質量分離部1で排除されており、質量分析部2+検出部に届かない。

(参考6) 1Fにおける分析体制について (1/6)

分析体制

- 分析に係る要員は、「分析評価者」と「分析作業者」に大別
 - 分析評価者：分析目的の把握、適切な分析方法を立案、分析結果の評価を実施
 - ・・・東電社員/JAEAプロパー職員または職員相当
 - 分析作業者：現場で分析作業に従事
 - ・・・外部人材を積極的に活用

 - 分析に係る具体的体制の計画 (JAEA体制は検討案であり、組織構造・規模は変更の可能性あり)
 - 東電_分析評価グループ (約100名)
 - ✓ 分析目的の把握、適切な分析方法を立案、分析結果の評価
 - ✓ 分析作業は外部人材を活用
 - JAEA_分析評価課：第1棟運用開始時に設置
 - ✓ 分析目的の把握、適切な分析方法を立案、分析結果の評価
 - JAEA_分析課：第1棟運用開始時に設置 (第2棟運用開始時に2課制に分割)
 - ✓ 分析作業の実施
 - JAEA_分析管理準備室：第2棟運用開始後廃止
 - ✓ プロパー職員等の事前準備 (教育等)
- 廃炉作業の進展に伴い相互に調整

 - ・分析対象
 - ・分析時期
 - ・分析方法
-
- 第2棟運用開始時点で、JAEAは東電等からの協力を得ながら110～130名規模の組織を想定

(参考6) 1Fにおける分析体制について (2/6) 要員能力 (1/2)

● 分析評価者の能力

- 分析業務の俯瞰的な位置付けができる能力
- 廃炉プロジェクトを俯瞰し、廃炉の進捗状況を理解したうえで分析課題の意義、必要性を正しく判断する能力
- 廃炉プロジェクト側から要求される分析事項を正しく判断し、要求に適合した分析計画、分析方法を立案、マニュアル化する能力
- 分析結果の評価に関連して、実施した分析作業員が十分なスキルを有しており、正しい手順で、正しく構成された装置、標準物質を用いて分析を実施したことを確認、評価する能力

● 分析作業者の能力

- 分析に係る基本的な事項を理解する能力
- 分析マニュアルの分析・化学的な意味を正しく理解するための知識等
- 実際に分析作業を実施する能力
- 分析結果の品質を判断できる能力

(参考6) 1Fにおける分析体制について(3/6)
要員能力 (2/2)

- 「分析評価者」「分析作業者」の共通能力
 - 放射化学分析、ICP-MS分析に必要な知識、技能
 - 試料採取及び前処理に必要な知識、技能
 - 廃液や二次廃棄物の発生量低減に係る意識、知識
 - 作業実施に係る能力
 - ✓ 安全確保を確実にする能力
 - ✓ 標準物質（校正標準）の調製に係る能力
 - ✓ 化学的事項に関する知識
 - ✓ 放射化学分析に必要な知識
 - ✓ 分析の信頼性の確保に係る知識
 - ✓ 統計的な考察に係る知見

要員確保計画

- 「分析評価者」の確保にあたり、以下を実施・検討
 - 新規採用し、事前に必要な能力を習得
 - JAEAでは既存施設の経験者を活用、または既存分析施設でのOJT等により確保
 - ※ 既存施設におけるJAEAのOJTは平成27年より以下で実施

JAEAにおけるOJT実績（施設or部署）の例

1	原子力科学研究所 燃料試験施設
2	原子力科学研究所 バックエンド研究施設(BECKY)
3	原子力科学研究所バックエンド技術開発建家
4	核燃料サイクル工学研究所 東海再処理工場(TRP)
5	核燃料サイクル工学研究所プルトニウム燃料技術開発センター
6	核燃料サイクル工学研究所放射線管理部環境監視課
7	大洗研究所 照射燃料集合体試験施設 (FMF)
8	廃炉国際共同研究センター廃棄物処理処分ディビジョン

- 「分析作業者」は外部人材を契約により確保
 - 必要な能力がある要員を有する企業と契約できるよう、当該契約における仕様書において、必要な能力を具体化

【参考】要員能力の例

分析の要素操作	必要な知識	必要な技能
①固体試料の溶解	各種の溶解反応の溶液化学的理解、試料の特性に適合した溶剤・融剤の選択に必要な知識	<ul style="list-style-type: none"> 不溶解性成分も含めて分析試料を完全溶解（あるいは部分溶解）・溶液化する専門的技能 使用する溶剤等に適した材質の容器、器具を選択し、使用する一般的技能
②試料採取	分析試料から、分析目的に適合した最適な分取方法で試料（代表サンプル）を採取するために必要な知識	<ul style="list-style-type: none"> 種々の方法、器具類を用いて試料を採取する一般的技能 天秤、ピペット、ピペッター等の取り扱い等に関する一般的技能
③試薬添加	試薬添加の溶液化学、分析化学的意味の理解、化学反応、試薬等の取り扱いにおける危険性の理解に必要な知識	<ul style="list-style-type: none"> 危険な試薬等を安全に取り扱う一般的技能 化学反応の暴走などの不測の事態に適切に対応することができる専門的技能
④定容、希釈操作	希釈の必要性、留意点等の理解に必要な知識	<ul style="list-style-type: none"> 器具類の選定、取り扱い等に関する一般的技能
⑤固相抽出分離、イオン交換分離	固相抽出、イオン交換分離の溶液化学、分析化学的原理、クロマトグラムの分離過程の理解に必要な知識	<ul style="list-style-type: none"> 固相抽出、イオン交換などの実作業の経験に基づく専門的技能
⑥ろ過	沈殿等のろ過物の成因、粒子径、溶解度などの溶液化学的特性の理解に必要な知識	<ul style="list-style-type: none"> ろ過器具の取り扱い等に関する一般的技能
⑦加熱濃縮、蒸発・乾固	加熱時の溶存成分の挙動の理解に必要な知識	<ul style="list-style-type: none"> 加熱時の突沸の回避対策に関する一般的技能 乾固物の完全回収を可能にする一般的技能
全操作に共通する事項	溶液中のイオン等の成分の濃度計算、分析の操作ブランクに関する知識	<ul style="list-style-type: none"> 溶液中の成分の濃度の計算に必要な一般的技能 分析操作中の他成分（元素、核種等）の汚染を抑制するための専門的技能 操作中に異常があった場合に、それに瞬時に気づき、それぞれの事象に応じた迅速な対応ができる技能

- 上記に加え、対象の線量等に応じた作業エリア（コンクリートセル、鉄セル、グローブボックス、フード等）における作業についての技能（コンクリートセル、鉄セルに有ってはマニプレータ操作、グローブボックスにおいてはグローブ越しの操作、試料等の搬出・搬入操作（バッグイン・バッグアウト等））等が要求される。

今後の取組み

- 環境影響把握やプラント管理のために、東京電力 1F設備で分析を行うとともに、原子炉内に投入した装置の付着物の分析など、**技術的に難易度の高い分析を中心に構外の分析施設の協力**を得て対応。
- 今後、ガレキ等や水処理二次廃棄物の分析及び燃料デブリ取り出しに伴う燃料デブリの分析が必要になってくるが、**技術的に難易度が高いこともあり、東京電力だけでは対応できないため、東京電力とJAEAの協力が必要**。
- 東京電力とJAEAの協力は、協定や覚書を結んだうえで既に開始しており、今後燃料デブリ取り出し方法の検討が具体化していく中で、必要な分析等が更に具体化してくる。そうした検討結果も踏まえながら、**必要な分析が十分にできるように、協力内容の検討を引き続き進めていく**。
- 放射性分析・研究施設の運用開始に向けて、**確実に必要な要員を確保**する。
- JAEA、東京電力ともに下記の取組みを継続することにより、**一層の分析体制や能力の向上**を図っていく。
 - 設備：必要な機器等を精査したうえで、順次導入していく。
 - 人材：水化学技術（水質管理、分析技術等）に長けた経験者によるOJTや専門機関への派遣により力量を付与していく。